

РАСЧЕТ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЖИВУЧЕСТИ СИНХРОННЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ SDH

Информационная живучесть системы связи - это способность системы выполнять свои функции по передаче информации в заданном минимальном объеме и заданных минимальных показателях качества в условиях воздействия заданного множества факторов. Количественной мерой живучести является вероятность выживания системы в указанном выше смысле. Аналогично определяется живучесть элементов системы.

Условная вероятность выживания элементов системы связи определяет живучесть элемента в предположении, что воздействие фактора состоялось,

$$P_y(\varepsilon_i) = P[U_c(\varepsilon_i) > U_3(\varepsilon_i)]$$

где $U_c(\varepsilon_i)$, $U_3(\varepsilon_i)$ - сохранившийся и заданный уровни работоспособности i -го элемента.

Безусловная вероятность выживания элементов системы связи характеризует живучесть элемента в течение определенного периода времени:

$$P_\delta(\varepsilon_i, \Delta t) = P_{ПВ}(\varepsilon_i, \Delta t) \cdot P_y(\varepsilon_i),$$

где $P_{ПВ}(\varepsilon_i, \Delta t)$ - вероятность того, что в течение времени Δt элемент подвергнется предполагаемому воздействию.

Задание минимальных требований по объемам и качеству передаваемой информации является обязательным в обоих случаях.

В качестве дополнительного показателя живучести можно ввести коэффициент относительной живучести, определяющий структурную живучесть системы,

$$K_0 = n_{\min} / N,$$

где n_{\min} - минимальное число структурных частей элемента, повреждение которых приводит к полному отказу элемента; N - общее число структурных частей элемента.

По этому показателю можно судить о чувствительности элемента к отказам отдельных его частей.

Первоначально живучесть системы (элемента) вычисляется по каждому из анализируемых факторов Φ_i , а затем по формуле суммы вероятностей совместных событий находится интегральная вероятность выживания системы (элемента).

Вопросы живучести сетей связи изложены во многих публикациях, например [1-5]. Однако широкое внедрение современных технологий в телекоммуникационных сетях ставит новые задачи по теоретическому исследованию живучести сетей. В современных протоколах функционирования таких сетей заложен ряд особенностей, которых не было в традиционных сетях.

Проанализируем факторы, влияющие на живучесть современных цифровых синхронных сетей SDH.

Факторы, определяющие информационную выживаемость SDH-сети можно разделить на две группы: классические, присущие сетям старого поколения, и факторы SDH-технологии.

Выживаемость традиционных сетей связи, в основном, определяется организацией физического резервирования и алгоритмом маршрутизации, который осуществляется в кросс-коммутаторах систем оперативного переключения сетевым центром управления SDH-сети (рис. 1).

Особенностью SDH-технологии является наличие функциональных методов защиты синхронных потоков [6].

Наличие двух агрегатных выходов в синхронных мультиплексорах SMUX, дублирующих передачу информации между двумя точками сети (рис. 2), позволило организовать две схемы резервирования: 1+1 и 1:1.

В первом случае участки между двумя узлами сети соединяются по двум разнесенным трассам (стопроцентное резервирование), сигналы по которым распространяются одновременно, анализируются, и выбирается тот, который имеет наилучшее соотношение параметров.

Во втором случае альтернативным маршрутам назначаются приоритеты - низкий и высокий; ветвь с низким приоритетом находится в режиме горячего резерва, переключение на нее происходит по аварийному сигналу от системы управления.

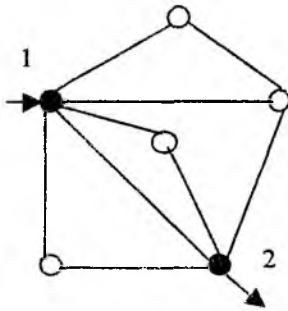


Рис.1

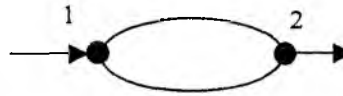


Рис.2

В SDH-сетях часто применяется кольцевая топология. В этом случае также могут применяться схемы 1+1 и 1:1. Однако такая топология позволяет организовать защиту кольца путем исключения поврежденного участка (рис. 3) и путем организации обходного пути (рис. 4).

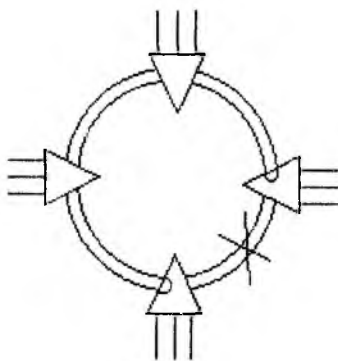


Рис. 3

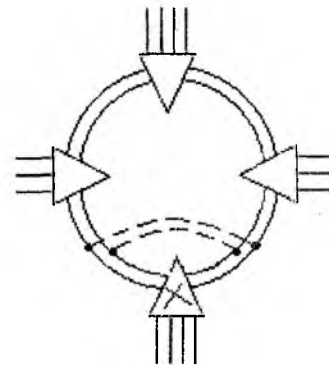


Рис. 4

Защита в вдвоенном кольце SDH-сетях организуется на уровне трибных блоков TU-п, передаваемых одновременно в одном направлении, но по разным кольцам. Система управления, осуществляющая постоянный мониторинг колец, автоматически выбирает блок из одного из колец. Эта защита носит распределенный по кольцу характер.

Второй метод – это организация передачи сигнала в двух противоположных направлениях, причем одно направление основное, а другое резервное. В этом случае блоки TU-п исходно имеют доступ только к основному кольцу. В случае сбоя происходит замыкание основного кольца на резервное в синхронном мультиплексоре, прилегающем к поврежденному участку сети.

В SDH-сетях восстановление работоспособности может осуществляться также за счет резервирования на уровне трибных интерфейсов. В этом случае схема резервирования N:1, что позволяет обеспечить резервирование от 100 % (1:1) до меньшей степени, например, 25 % (4:1), когда на 4 основные трибные интерфейсные карты используется одна резервная, которая автоматически выбирается системой кросс-коммутации при отказе одной из основных.

Выживаемость SDH-сети за счет выбора виртуальных контейнеров на каждом сегменте сети можно иллюстрировать схемой, представленной на рис. 5.

Рассмотрим метод электронного моделирования классических телекоммуникационных сетей для расчета живучести [4] и преобразуем его для решения поставленной задачи.

Для адекватного перехода от аналитической модели последовательной структуры сети, в которой общая живучесть канала P_{kl} определяется как

$$P_{kl} = \prod_{i,j=1}^n p_{i,j},$$

где $p_{i,j}$ -вероятность выживания последовательных элементов канала как независимых событий, к электронной модели, представляющей собой электронную цепь из последовательно соединенных резисторов с сопротивлениями R_{ij} , чтобы функция перехода обладала свойством

$$F\left(\prod_{i,j=1}^n p_{i,j}\right) = \sum_{i,j=1}^n F(p_{ij}).$$



Рис. 5

Из элементарных функций таким свойством обладает логарифмическая функция $F(P_{ij}) = \log_a P_{i,j}$, для которой

$$\log_a \prod_{i,j}^n p_{i,j} = \sum_{i,j=1}^n \log_a p_{i,j}.$$

Выбрав значения сопротивления равными

$$R_{i,j} = \log_a p_{i,j}$$

и измерив общее сопротивление цепи

$$R_{kl} = \log_a P_{kl},$$

можно определить живучесть по формуле

$$P_{kl} = a^{R_{kl}}.$$

Для удобства моделирования введем коэффициент k . В этом случае

$$R_{ij} = k \log_a p_{ij}.$$

$$R_{kl} = \sum_{i,j=1}^n R_{ij} = k \sum_{i,j}^n \log_a p_{ij} = k \log_a \left(\prod_{i,j}^n p_{ij} \right) = k \log_a P_{ij},$$

$$P_{kl} = a^{R_{kl}/k}.$$

При параллельной структуре сети для перехода к электронной модели параллельно соединенных резисторов R_{ij} необходимо и достаточно, чтобы функция аналогового перехода $G_{ij} = F(q_{ij})$ обладала свойством

$$F\left(\prod_{i,j}^n q_{ij}\right) = \sum_{i,j}^n (q_{ij}), \quad (1)$$

где $q_{ij} = 1 - p_{ij}$ -вероятность поражения элемента; $G_{ij} = 1/R_{ij}$ -проводимость резистора модели.

Для перехода к сопротивлениям резисторов необходимо, чтобы функция G_{ij} обладала дополнительным свойством:

$$R_{ij} = \frac{1}{G_{ij}} = F(p_{ij}) = F(1 - q_{ij}) = \frac{1}{F(q_{ij})} = \frac{1}{F(1 - p_{ij})}. \quad (2)$$

Для смешанной сети необходимо, чтобы функция перехода одновременно удовлетворяла условиям (1), (2), а значения моделирующих резисторов должны определяться одновременно из двух условий:

$$R_{ij} = k \log_a p_{ij}, \quad R_{ij} = \frac{1}{\log_a (1 - p_{ij})}.$$

Если учесть, что $R_{ij} \geq 0$, а $0 \leq p_{ij} \leq 1$, то из анализа $a = f(p_{ij})$ следует, что при $0 \leq p_{ij} \leq 1$ величина a изменяется в пределах $0,5 \leq a \leq 0,61$.

Если исходить из того, что в сложной разветвленной сети произведения и суммы элементарных событий встречаются примерно в равной степени, то целесообразно, чтобы приближенная функция перехода удовлетворяла условию:

$$R_{ij} \approx F_1(p_{ij}) = \frac{\log_a p_{ij} + \log_c p_{ij}}{2}.$$

Для области значений $0,2 \leq p_{ij} \leq 0,8$ при $c = 0,5$ погрешность расчетов живучести $\leq 2\%$. При $0,01 \leq p_{ij} \leq 0,99$ величину c следует брать больше (например $c = 0,7$). В этом случае погрешность увеличивается и может достигать 15 %.

Для SDH-технологии модель сети представлена на рис. 6, где:

$R_i/2$ -элементы модели узла; $R_{ij}^{(1)}$ -элементы модели классической линии связи; $R_{ij}^{(2)}$ -элементы модели сети SDH, обусловленные бинарным оптическим агрегатным выходом SMUX; $R_{ij}^{(3)}$ -элементы модели сети SDH, обусловленные резервированием на уровне виртуальных контейнеров.

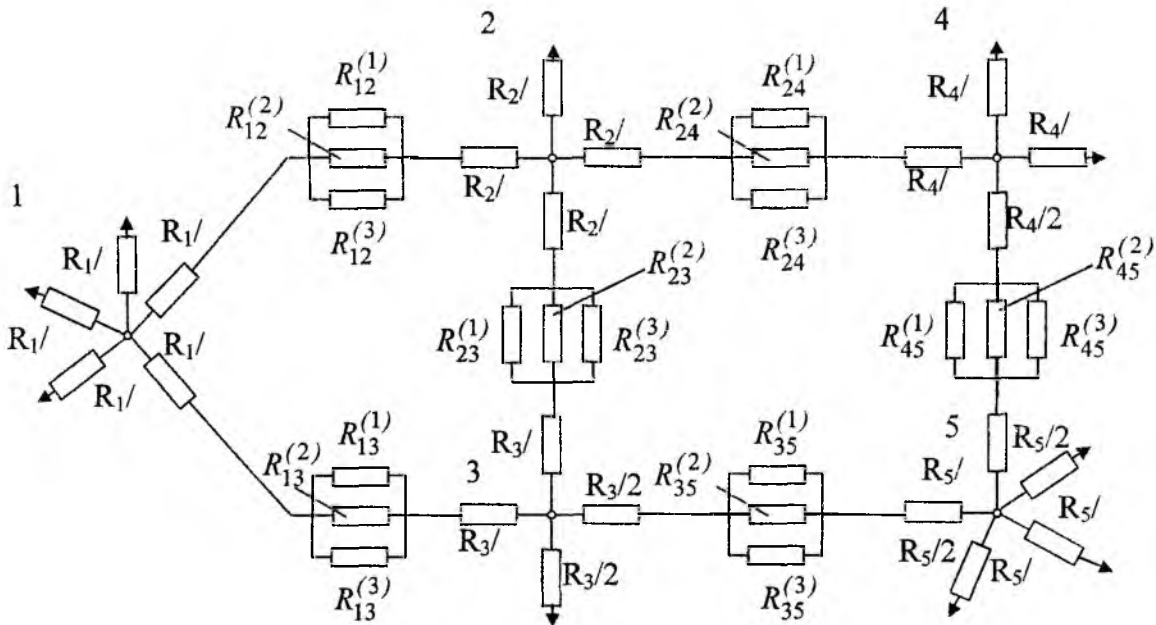


Рис. 6

Элементы $R_{ij}^{(m)}$ пересчитываем в

$$R_{ij} = 1 / \sum_{m=1}^3 (1/R_{ij}^{(m)}).$$

Для упрощенной модели сети элементы узлов введем в элементы линий

$$R_{ij}' = R_{ij} + \frac{R_i}{2} + \frac{R_j}{2}.$$

Таким образом, расчет живучести сети SDH заключается в:

- задании графа сети матрицей связности $M = \|m_{ij}\|$, где $m_{ij} = 1$, если между узлами i, j есть линия связи, и $m_{ij} = 0$, если таковой связи нет;
- задании вероятностей выживания элементов сети SDH $P^{(m)} = \|p_{ij}^{(m)}\|$, где $m=1,2,3$;
- анализе пределов изменения p_{ij} и выборе оснований логарифмов a и b ;
- свертке $R_{ij}^{(m)}$ в R_{ij} ;
- для упрощенной модели в дополнительной свертке R_{ij}, R_i, R_j в R_{ij}' ;
- создании электронной модели сети из R_{ij}' из R_{ij}, R_i, R_j ;
- определении R_{kl} между требуемыми узлами k и l в сети;
- пересчете R_{kl} в P_{kl} .

Следует обратить внимание на то, что в статье, кроме преобразования метода электронного моделирования традиционных сетей в метод моделирования SDH-сетей, предлагается физическое моделирование заменить на программное с использованием стандартных программ схемотехнического моделирования.

В таблицах 1, 2 приведены результаты моделирования примера SDH-сети.

Таблица 1

P_i	$P_1=1,0$	$P_2=0,3$	$P_3=0,1$	$P_4=0,3$	$P_5=0,7$	$P_6=0,3$	$P_7=1,0$
$R_{i/2}, \text{кОм}$	0	1,30	2,78	1,30	0,39	1,30	0

Таблица 2

ij	1-2	1-3	1-4	1-7	2-3	2-5	2-7	3-4	3-5	4-6	5-6	5-7	6-7
P_{ij}	0,3	0,2	0,7	0,7	0,1	0,9	0,2	0,7	0,7	0,2	0,7	0,9	0,3
$R_{ij}, \text{кОм}$	2,61	3,60	0,77	0,77	5,56	0,25	3,6	0,77	0,77	7,6	0,77	0,25	2,61
$R_{ij}', \text{кОм}$	3,91	6,38	2,07	0,77	9,61	1,95	4,9	3,85	3,94	6,2	2,46	0,65	3,91

Использовано программное обеспечение Electronics Workbench v.5.12. Получено на мультиметре $R_{17} = 0,68 \text{ кОм}$. Пересчет R_{17} в P_{17} дает $P_{17} = 0,73$.

Выводы

1. Разработана модель живучести SDH-сети.
2. Предложен метод компьютерного электронного моделирования для расчета живучести телекоммуникационных сетей.
3. Компьютерное моделирование в сравнении с физически позволяет сделать задачу моделирования живучести телекоммуникационной сети простой, наглядной, лишенной существующих погрешностей в условиях номиналов резисторов и измерительных приборов; не требует резисторов, физической сборки схемы, измерительных приборов; не создает проблем как при изменении параметров модели, так и ее технологии; легко документируется.

Список литературы: 1. Захаров Г.П. Методы исследования сетей передачи данных. М.: Радио и связь, 1982. 208 с. 2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с. 3. Флейшман Б.С. О живучести сложных систем//Техническая кибернетика. 1966. №5. 4. Холан А.В. Физическое моделирование сетей связи. М.: Наука, 1980. С.133-137. 5. Б.Я. Дудник, В.Ф. Овчаренко, В.К. Орлов и др. Надежность и живучесть систем связи. М.: Радио и связь, 1984. 216 с. 6. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. М.: Эко-Трендз, 1998. 252 с.